

# Wybrane aspekty technik pomiarowych w kuźniach matrycowych

## Chosen aspects of measurement techniques in die forges

MAREK HAWRYLUK  
JACEK ZIEMBA \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.485

W pracy przedstawiono możliwości aplikacji technik pomiarowych w przemyśle kuźniczym w przypadku do dwóch grup obiektów: odkuwek i narzędzi kuźniczych, zwracając uwagę na niedostateczną świadomość ważności stosowanych przyrządów i metod pomiaru, w kontekście bezpieczeństwa uzyskiwanych wyrobów, oraz istotne problemy pomiarowe wynikające z ekstremalnych warunków panujących w przemysłowych procesach kucia matrycowego na gorąco.

**SŁOWA KLUCZOWE:** narzędzia kuźnicze, odkuwka

*The paper presents the possibilities of application of modern measurement techniques in the forging industry used two groups of objects: forgings and forging tools, paying attention to the lack of awareness of the validity of used instruments and the methods of measurement, especially in the context of security achieved products and significant measurement problems due to the extreme conditions in industrial die hot forging processes.*

**KEYWORDS:** forging tools, forging

Obecnie klasyczne metody pomiarowe oraz współrzędnościowa technika pomiarowa dają największe możliwości rozwoju nowoczesnej myśli metrologicznej, pozwalając na tworzenie ciekawych aplikacji pomiarowych w obszarze przemysłu kuźniczego [2, 4, 6].

Na każdym z etapów procesu kucia istnieje ryzyko wystąpienia błędu powodującego obniżenie jakości wytwarzanych odkuwek, które ze względu na swoje wysokie właściwości eksploatacyjne są szeroko stosowane na odpowiedzialne elementy dla przemysłu *automotive* i lotniczego, od których wymaga się dużej dokładności wymiarowo-kształtowej i niezawodności. Dlatego w przypadku procesów kucia matrycowego niezbędna jest kontrola, a nawet monitorowanie całego ciągu technologicznego, a także przestrzeganie założonej technologii wytwarzania [3]. Jednym z podstawowych czynników wpływającym na jakość odkuwek są narzędzia (ich jakość i dokładność wykonania) oraz maszyny i urządzenia (stan eksploatacji) stosowane w procesach kucia. Zużywanie się narzędzi kuźniczych i oprzyrządowania bardzo często powoduje zmiany charakterystyk geometrycznych wytworzonego wyrobu, a wszelkie wady powierzchniowe narzędzi (np.: pęknięcia, ubytki, narosty, itp.) odwzorowują się na kuty wyrobie [2, 7], wpływając na jakość i właściwości wyrobu finalnego otrzymywanego z odkuwki.

Większość kuźni w Polsce do kontroli jakości, a w szczególności charakterystyk geometrycznych detali (odkuwek, oprzyrządowania kuźniczego, maszyn i urządzeń kuźniczych), nadal wykorzystuje klasyczne narzędzia pomiarowe. Wynika to z dwóch powodów. Po pierwsze tego typu przyrządy od lat sprawdzają się w przemyśle kuźniczym, gdzie wymagana była kiedyś mniejsza niż obecnie dokładność wymiarowa, ze względu na stosowanie wykończe-

niowej obróbki mechanicznej, a najistotniejsze były walory eksploatacyjne odkuwek. Stosowane w kuźniach przyrządy pomiarowe są niezawodne w trudnych kuźniczych warunkach pracy, proste w obsłudze i szybko podają wynik prostych pomiarów cech geometrycznych.

Po drugie zakłady przemysłowe, mimo że mają świadomość potrzeby kontroli jakości, to często ze względów finansowych nie przywiązują dostatecznej wagi do przyrządów i metod pomiaru. Obecnie w nowoczesnych kuźniach ta sytuacja ulega zmianie i kładziony jest większy nacisk na stosowanie lepszych i dokładniejszych narzędzi pomiarowych oraz wykorzystywanie innych metod pomiaru. Jest to bezpośrednio związane ze zmianami w specyfikacji geometrycznej wyrobu i powiązaniem z nią systemem norm [5, 8].

### Pomiary i kontrola jakości odkuwki

Kontrola odkuwek zależy często bezpośrednio od odbiorcy. Standardowo w procesach kucia matrycowego na gorąco kontroli poddawane są: materiał wsadowy, przedkuwka oraz odkuwki po poszczególnych operacjach, a także odkuwka po obróbce mechanicznej, czyli gotowy wyrób.

W przypadku pomiaru materiału wsadowego kontrola dotyczy najczęściej jego masy i geometrii po cięciu. W większości kuźni sporadycznie stosuje się metody kontroli geometrii, kładąc przede wszystkim nacisk na kontrolę masy materiału wsadowego (za pomocą wagi), która w procesie kucia matrycowego jest istotna, wpływa bowiem na poprawne wypełnienie wykroju w matrycy. Na zautomatyzowanych liniach kuźniczych pocięty materiał trafia do automatycznego podajnika/zasobnika, który dostarcza go do nagrzewnicy indukcyjnej. Przed nagraniem materiał jest poddawany kontroli jakości poprzez system kontroli – dzięki temu z procesu zostają usunięte wstępniaki z wadami takimi, jak: pęknięcia, zadziory i inne. W takich systemach zastosowane są: przyrządy do pomiarów istotnych cech geometrycznych wsadu, moduły wizyjne do inspekcji optycznej powierzchni wsadu, wagi do pomiarów dynamicznych masy wsadu oraz pirometr do określania temperatury nagrzewu wstępniaka.

Pomiary temperatury materiału wsadowego realizowane są najczęściej poprzez pirometr, z kolei pomiary geometrii gorącej odkuwki – z wykorzystaniem suwmiarek lub wysokościomierzy suwmiarkowych, sporadycznie wykorzystuje się także wzorce.

W ramach badań własnych autorzy przeprowadzili weryfikację nagrzewnicy indukcyjnej po regeneracji cewki miedzianej w celu określenia, czy materiał wsadowy jest nagrzewany równomiernie w całej objętości i nie występuje efekt naskórkowości [1]. Nierównomierny rozkład temperatury materiału wsadowego, wywołany niewłaściwym polem prądów wirowych, może być przyczyną niepoprawnego pływnięcia materiału odkuwki i w konsekwencji pojawianiem się martwych stref lub zakuć. W celu weryfikacji nagrzewnicy przygotowano zestaw wstępniaków z otworami pod termopary w różnych obszarach (rys. 1). Następnie po nagraniu wsadu w nagrzewnicy, tuż po jego zsunięciu z rynny na

\* Dr inż. Marek Hawryluk (marek.hawryluk@pwr.edu.pl), dr inż. Jacek Ziemia (jacek.ziemia@pwr.edu.pl) – Politechnika Wroclawska

stolik, zostały zamontowane termopary i dokonany pomiar temperatury z wykorzystaniem systemu pomiarowego UNISYS. Przeprowadzono także modelowanie numeryczne w celu zobrazowania rozkładu pola temperatury w wybranych obszarach wstępniaka.

Badania potwierdziły właściwy rozkład temperatury, a tym samym poprawność regeneracji nagrzewnicy.

### Pomiary i kontrola oprzyrządowania kuźniczego

Do kontroli oprzyrządowania kuźniczego używa się tych samych przyrządów pomiarowych, jak w przypadku odkuwek. Przy czym bardzo rzadko mierzy się nagrzane narzędzia. Podczas kucia matrycowego na gorąco narzędzia poddawane są bardzo dużym, cyklicznym obciążeniom cieplnym (od 80 do 800°C) oraz mechanicznym (0–800 MPa). W wyniku tak niekorzystnych warunków pracy, narzędzia te cechują się niestabilną i stosunkowo krótką trwałością. Dlatego matryce i stemple poddawane są szczególnej kontroli przed procesem kucia, gdyż to od ich dokładności, jakości wykonania i stanu powierzchni wyjściowej zależy kształt i jakość odkuwki. Pomiary narzędzi kuźniczych dokonuje się także coraz częściej w trakcie eksploatacji oraz po zakończeniu pracy w celu analizy postępujących efektów niszczenia narzędzia. Takie informacje są bardzo cenne, zwłaszcza w przypadku prognozowania trwałości oprzyrządowania kuźniczego.

Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki skanowania narzędzi. Zastosowanie mobilnego ramienia pomiarowego wyposażonego w skaner może być znacznie bardziej zaawansowane i niekoniecznie realizowane w laboratorium, lecz bezpośrednio podczas produkcji, np. w ciągłej ocenie stanu narzędzia kuźniczego, tzn. jego trwałości. Autorzy przeprowadzili pomiary zużycia się wybranego narzędzia kuźniczego na podstawie pomiarów cyklicznie wybieranych z procesu odkuwek bezpośrednio podczas produkcji, a dodatkowo weryfikowali te pomiary na podstawie szybkiej analizy stanu narzędzia w trakcie krótkich przerw technologicznych, bez konieczności ich demontażu [2].

Niezwyczajnie istotnym parametrem procesu kucia, zarówno ze względu na trwałość narzędzi, jak i jakość gotowego wyrobu, jest temperatura narzędzi oraz jej wstępny nagrzew.

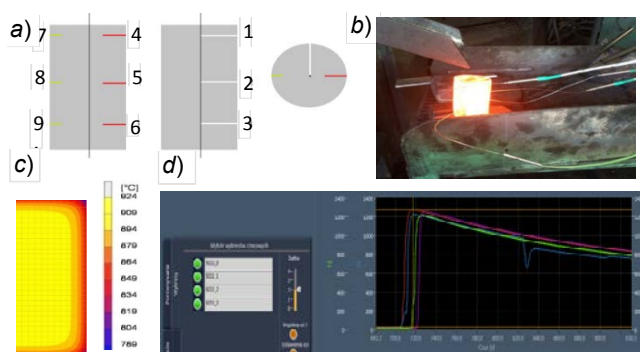
Przykładowo w procesie kucia odkuwki typu rozwidłonego maksymalna temperatura na powierzchni narzędzi wynosiła 160°C (rys. 3a), czyli o 90°C poniżej zalecanej temperatury podanej w karcie technologicznej. Istotną kwestią jest także sposób pomiaru temperatury. Pomiar przy użyciu kamery termowizyjnej czy pirometru dotyczy temperatury z powierzchni obiektu, a dodatkowo może być obarczony błędem wynikającym z ustawionej stałej wartości współczynnika emisji w tych przyrządach (najczęściej 0,95).

W rzeczywistości wskutek dynamicznych zmian temperatury podczas procesu kucia, a tym samym promieniowania obiektów, współczynnik emisji jest zmienny.

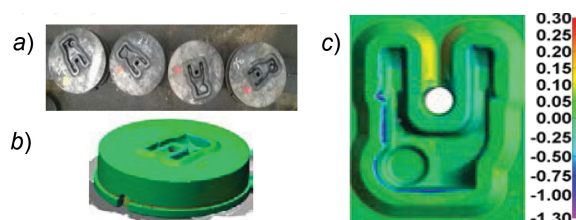
Często kalibrowanie przyrządów do pomiarów bezkontaktowych dokonywane jest przez czujnik stykowy – termoparę (rys. 3b). Stąd najdokładniejszy jest pomiar kontaktowy przy użyciu termopar, który jest niestety w przypadku przemysłowych procesów kucia bardzo utrudniony lub niemożliwy.

### Podsumowanie

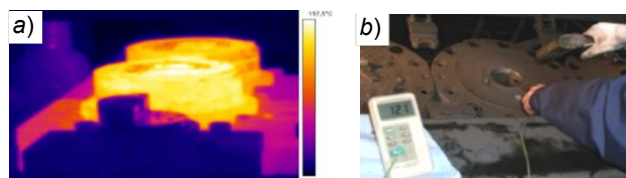
W większości analizowanych procesów kucia możemy zauważyć liczne odstępstwa od prawidłowego procesu kontroli jakości na rzecz akceptowania prostych metod pomiarowych typowych dla produkcji nisko kosztowej (*lower cost*). Mimo niepodważalnego rozwoju technologicznego, ze względu na trudne warunki panujące w procesach kucia matrycowego



Rys. 1. a) Schematycznie zaznaczone otwory w materiale wstępniaka, b) nagrzany wstępniak z termoparami, c) rozkład temperatury z MES, d) wyniki z autorskiego systemu pomiarowego UNISYS



Rys. 2. a) Wkładki matryce przeznaczone do skanowania, b) wynik skanowania – izometria, c) skanowanie rzut



Rys. 3. a) Pomiar temperatury wkładek matrycowych kamerą termowizyjną, b) pomiar temperatury pirometrem w matrycy tuż po kuciu – weryfikacja wyników przy użyciu termopary [1]

na gorąco nadal stosuje się stare, lecz niezawodne przyrządy i metody pomiarowe. Zauważalne są także nowe trendy w przemyśle kuźniczym, głównie związane z możliwością stosowania przenośnych systemów pomiarowych, takich jak skanery montowane na przenośnych ramionach pomiarowych. Technologia ta pozwala na prowadzenie kontroli jakości odkuwek o średniej i dużej wielkości oraz narzędzi kuźniczych, których pomiar może odbywać się bezpośrednio podczas produkcji. Należy podkreślić, że już nie tylko w nowoczesnych kuźniach podnosi się poziom świadomości związanej z jakością i prowadzeniem pomiarów, co powoduje, że kładziony jest większy nacisk na stosowanie bardziej dokładnych przyrządów pomiarowych oraz wykorzystywanie nowych metod pomiaru.

### LITERATURA

- Gronostajski Z., Hawryluk M., Jakubik J., Kaszuba M., Misun G., Sadowski P. "Solution examples of selected issues related to die forging". *Archives of Metallurgy and Materials*. Vol. 60, No. 4 (2015): pp. 2767–2775.
- Gronostajski Z., Hawryluk M., Kaszuba M., Ziemia J. "Application of a measuring arm with an integrated laser scanner in the analysis of the shape changes of forging instrumentation during production". *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. Vol. 18, No. 2 (2016): pp. 194–200. <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2016.2.6>.
- Hawryluk M., Kaszuba M., Gronostajski Z., Sadowski P. "Systems of supervision and analysis of industrial forging processes". *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. Vol. 18, No. 3 (2016): pp. 315–324. <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2016.3.1>.
- <http://www.magazynprzemyslowy.pl/zarzadzanie-i-rynek/Ramiona-pomiarowe-rynek-i-zastosowania> (dostęp: 7.07.2016 r.).
- Humienny Z. (red.). *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – podręcznik europejski*. Warszawa: WNT, 2004.
- Li F.X., Longstaff A., Fletcher S., Myers S. "Integrated tactile and optical measuring systems in three dimensional metrology". *Computing and Engineering Researchers' Conference*. University of Huddersfield (2012): pp. 1–6.
- Pachutko B., Ziolkiewicz S. "Investigation of the wear processes of dies for forging building anchors basing on metallographic examinations". *Obróbka Plastyczna Metali*. R. 23, nr 4 (2012): s. 277–293.
- PN-EN ISO 1101:2013-07. *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Tolerancje geometryczne – Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia*. Norma.